

PENGARUH KONSENTRASI SILIKA DAN BEDA TEKATAN STATIS UAP TERHADAP KECEPATAN SCALING PADA MODEL PIPA PANAS BUMI

Effect of Silica Concentrations and Steam Static Pressure Differences on Scaling Speed at Geothermal Pipe Model

F.X. Sukidjo¹ dan Samsul Kamal²

*Program Studi Teknik Mesin
Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada*

ABSTRACT

Scaling or deposition on the geothermal transmission pipes wall happens if the working steam which flows in it contains some minerals, like Silica and Carbonate. This research used steam as a model for geothermal fluid. The steam as fluid was generated by a boiler. Three solutions of silica were used, those were 57,1, 71,7, and 93,5 ppm. These concentrations were based on the solubility of quartz at 133,5°C, and a working pressure of 2 atg, and three static pressure differences of 0,4, 1,0 and 1,5 atg. The steam at certain condition flowed in the specimen for six hours. The scale thickness on the specimen wall was measured and compared to the copper wire of 120 μ m diameter.

The deposition rates, which depend on the surface roughness, static pressure differences, and silica concentration in the solution, could be approached by linear equations.

Keyword: *scaling, deposition, silica concentration*

PENGANTAR

Scaling atau lazim disebut deposisi dapat terjadi dalam keadaan statik atau dinamik. Yang dimaksud keadaan statik adalah selama proses deposisi tidak ada gerakan, larutan diam. Karena pengaruh gravitasi, deposisi terbentuk di dasar ataupun di dinding tempat larutan berada. Scale atau kerak yang banyak dijumpai di lapangan panas bumi, seperti Kamojang, adalah scaling silika (Brown,1996). Ada 2 jenis silika yang didapat, yaitu yang bersifat keras dan berwarna putih seperti kaca, sangat sukar dilepas dari dinding pipa. Jenis yang ke dua bersifat lunak,

1 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UGM

2 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UGM

agak renggang dan mudah dilepas (Syafei,1995). Akibat terbentuknya scaling ini, pipa alir uap vertikal pada sumur dan pipa transmisi dapat tertutup, sehingga diperlukan perawatan rutin terhadap pipa-pipa itu dengan cara pembersihan scaling.

Masalah penting yang perlu dikaji adalah setelah berapa lama pengoperasian diperlukan perawatan rutin. Untuk menjawab permasalahan di atas, diperlukan studi tentang kecepatan pertumbuhan scaling, terutama pertumbuhan scaling yang dipengaruhi oleh perubahan konsentrasi dan perubahan beda tekanan statis uap antara tekanan uap saat keluar dari sumur dan di dalam pipa transmisi.

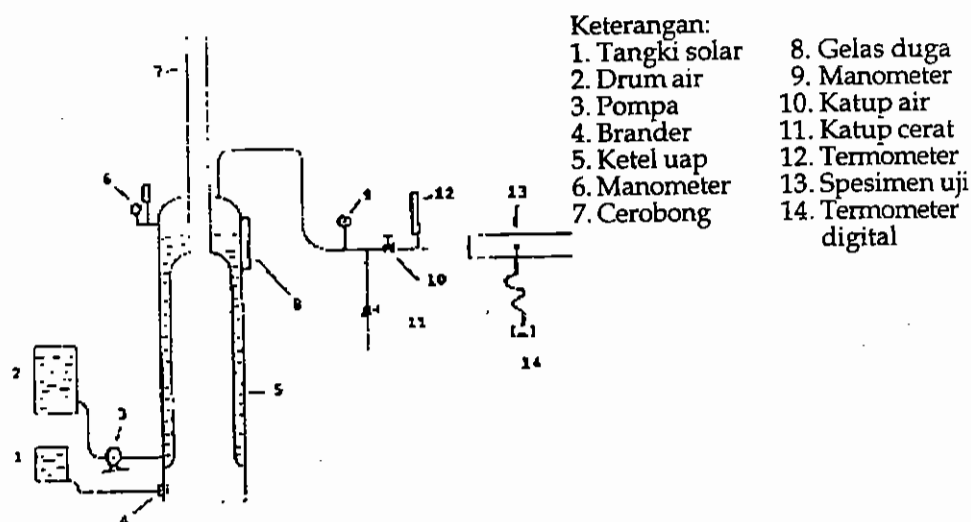
Silika, SiO_2 , dihasilkan dari asam silikat yang terurai menjadi silika dan air. Asam silikat ini bersifat monomir, dan mengalir bersama-sama partikel. Selama gerakan aliran ini, monomir menyatu dengan partikel. Akibat adanya turbulensi, gerakan Brown dan gravitasi, partikel itu dapat menembus lapis batas dinamik, mencapai dinding pipa, sehingga terjadi deposisi bersama (Jamieson,1984). Laju pergerakan dipengaruhi oleh suhu dan laju reaksi pemisahan asam silikat di atas (Henley,1993). Laju pergerakan adalah jumlah laju deposisi monomir dan deposisi partikel. Laju deposisi monomir tergantung pada suhunya, sedangkan laju pergerakan partikel sangat dipengaruhi oleh kondisi dinamik aliran dan inersia partikel. Sekurang-kurangnya ada 4 mode tentang transportasi partikel melalui lapis batas dinamik, yaitu difusi turbulen, konveksi lewat sub lapis, arah awal gerakan ketika melalui lapis batas, dan difusi Brown pada lapis sub itu.

Ditinjau dari proses terbentuknya, scaling dapat terjadi melalui dua cara, yaitu deposisi koloid dan deposisi langsung pada permukaan dinding pipa. Silika (SiO_2), bila bertemu dengan molekul air (H_2O) akan terbentuk asam silikat (H_4SiO_4). Molekul asam silikat, pada derajat keasaman tertentu, akan terdisosiasi menjadi anion H_3SiO_4^- dan kation H^+ . Bila dua molekul asam silikat bertemu, akan terbentuk dimer ($\text{H}_6\text{Si}_2\text{O}_7$) dan satu molekul air. Pada umumnya pipa transmisi uap terbuat dari baja, yang terdiri atas kation kation besi (Fe^{++} atau Fe^{+++}). Akibat gaya elektrostatis, kation ditarik oleh anion, sehingga terjadilah pergerakan silika pada dinding pipa. Kerak yang terjadi dapat berupa kerak silika atau kerak silika dan partikel lain yang sudah ada pada dinding itu, misalnya kalsium dan magnesium. Bila pada aliran itu terdapat kelebihan silika, maka deposit yang terbentuk melalui formasi koloid ini akan terekat kuat pada dinding pipa. Formasi deposisi ke dua adalah deposisi langsung (direct deposition) pada dinding pipa. Formasi ini dapat terjadi bila dalam aliran terdapat silika dalam keadaan lewat jenuh, sehingga ada sebagian asam silikat yang tidak sempat terdisosiasi,

kemudian langsung melekat pada dinding pipa. Formasi deposisi ini berlangsung lebih lambat, tetapi kerak yang terbentuk lebih keras dan sulit dilepaskan dari dinding pipa.

CARA PENELITIAN

Alat utama penelitian ini terdiri atas sebuah ketel uap pipa air silang, pipa uji, mikroskop logam, neraca, dan termometer digital. Bahan utama berupa larutan asam silikat dengan 3 macam konsentrasi, yaitu 57,1, 71,7, dan 93,5 bagian per juta (bpj). Konsentrasi ini diambil berdasar daya larut silika pada tekanan 2 atmosfer terukur. Skema alat uji ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Skema alat uji utama

Model air bumi diperoleh dengan cara melarutkan asam silikat masing-masing sebanyak 36,5, 45,8, dan 59,8 gram ke dalam 400 liter air bersih untuk mendapatkan konsentrasi seperti tersebut di atas, kemudian dipompakan masuk ke ketel uap. Model uap dihasilkan oleh ketel ini. Tekanan kerja ketel diatur, sehingga suhu uap yang dihasilkan dapat diketahui. Pipa uji berupa sambungan pipa medium yang berdiameter 0,5 inci dan 1,75 inci. Panjang pipa uji adalah 60 cm. Pipa uji diisolasi dengan 2 lapis pita asbes setebal lebih kurang 2,5 mm dan dibungkus lembaran aluminium foil. Sebelum dialiri uap, dinding dalam pipa dibersihkan, kemudian diolesi larutan Kalium hidroksida 40 gram/liter.

Pengolesan ini bertujuan untuk menangkap silika, sehingga pembentukan scaling dipercepat. Uap dengan kondisi tertentu dialirkan ke dalam pipa uji. Kondisi uap dalam penelitian ini adalah uap hasil ketel uap dengan konsentrasi silika 57,1, 71,7, dan 93,5 bpj pada beda tekanan statis 1 atg, dan uap hasil dari ketel uap dengan konsentrasi silika 93,5 bpj pada beda tekanan statis 0,4, 1,0, dan 1,5 atg.

Penelitian dilakukan selama 6 jam terus menerus untuk tiap-tiap kondisi uap. Titik-titik yang diukur ketebalan scalingnya, ditentukan sebagai berikut. Titik pertama terletak 10 cm dari input, yang tepat pada sambungan pipa yang kecil dengan yang besar. Titik ke dua dan berikutnya sampai titik ke lima, masing-masing berjarak 5 cm. Pipa uji diambil, kemudian dipotong-potong melintang selebar 1 cm, potongan ini dipotong pada 4 sisi, yaitu samping kiri, sisi atas, samping kanan, dan sisi bawah sepanjang 1 cm. Potongan-potongan terakhir ini, ditata tegak di dalam kotak dari plat. Campuran resin dan katalis dituangkan ke dalam kotak. Setelah lebih dari 6 jam, salah satu permukaan potongan uji digosok dengan ampelas halus. Dengan bantuan mikroskop logam, ketebalan deposisi diukur dengan cara dibandingkan dengan ukuran yang sudah diketahui, yaitu kawat tembaga yang berdiameter 120 mikrometer. Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tebal scale terbesar terjadi pada titik tengah sisi bawah sebesar 50 μm , dan yang terkecil pada titik tengah sisi atas sebesar 4 μm , pada konsentrasi larutan 93,5 bpj, beda tekanan statis 1,5 atg. Konsentrasi larutan juga berpengaruh pada tebal scale. Tebal scale terbesar terjadi pada titik tengah sisi bawah sebesar 48 μm , sedangkan tebal yang terkecil terjadi mulai dari titik tengah, sebesar 2 μm , pada konsentrasi larutan 93,5 ppm, beda tekanan statis 1 atg. Pada titik yang sama, tetapi beda tekanan statis lebih besar, tebal scaling lebih besar.

Data hasil penelitian diolah secara statistik, dengan metoda kuadrat terkecil. Karena cacah data kurang dari 50, maka data tersebut dapat dikategorikan sebagai data kecil. Holman (1994) menyatakan bahwa jika cacah data termasuk kategori kecil, maka persamaan pendekatan hasil regresi dapat dinyatakan sebagai persamaan linear. Hubungan antara tebal scaling dan beda tekanan yang menunjukkan beda laju aliran dan konsentrasi adalah:

$$s' = a + b X \quad (1)$$

dengan:

s' = tebal scaling teramati, mikrometer(μm)

a = konstanta regresi

b = konstanta regresi

X = jarak dari input, cm

Konstante a dan b dicari dengan cara kuadrat terkecil.

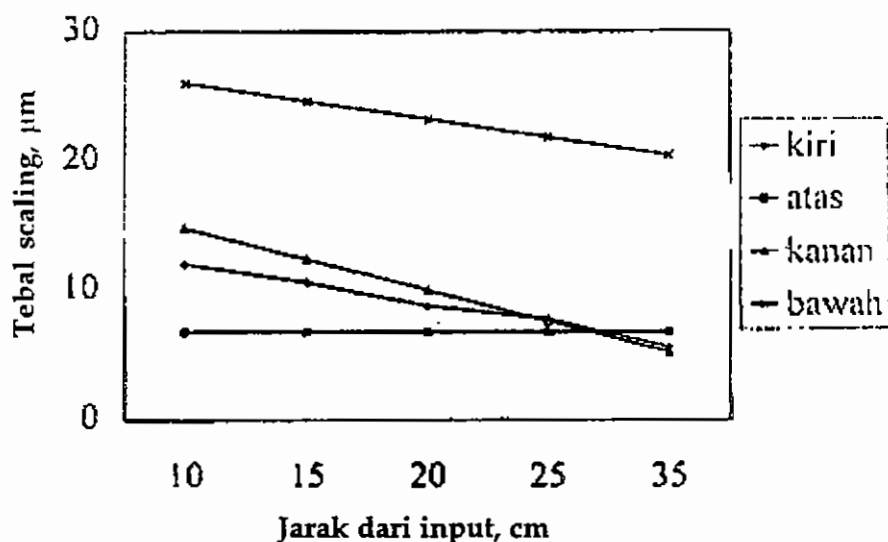
Untuk menguji signifikansi persamaan pendekatan di atas, digunakan koefisien korelasi, r .

Bila didapat $r = 1$, berarti persamaan pendekatan signifikan, dan jika $r = 0$ atau imajiner, persamaan pendekatan tidak signifikan. Persamaan pendekatan hubungan tebal scaling dan konsentrasi diperoleh dengan mengganti X_i dengan konsentrasi, c .

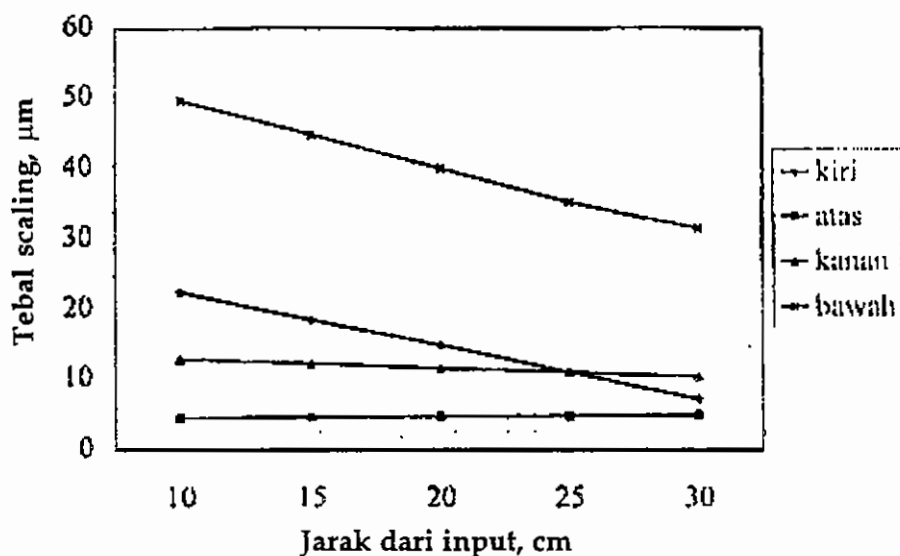
Scaling yang terbentuk juga dipengaruhi oleh karakteristik permukaan dinding pipa, yaitu oleh kekasaran atau *roughness* permukaan. Permukaan yang kasar akan memberikan tegangan geser dinding atau *wall shear stress* yang besar.

Dari Gambar 2, 3, dan 4, tampak bahwa tebal scaling cenderung menurun searah dengan arah aliran, dan cenderung menaik bila beda tekanan statisnya membesar. Tetapi, pada beda tekanan 1,0 atg dan 1,5 atg, untuk titik-titik bawah, justru menurun. Hal ini mungkin terjadi karena posisi sambungan pipa berdiameter 0,5 inci dan pipa berdiameter 1,75 inci tidak sesumbu, tetapi bersudut ke atas terhadap sumbu pipa 1,75 inci, sehingga tekanan statis lokal sisi atas menurun besar. Sebagai akibat, tebal scaling pada sisi atas untuk beda tekanan 1,5 atg bertambah. Hal demikian kemungkinan terjadi pula pada sisi kiri dan kanan. Bila pipa kecil dan besar sesumbu, maka tekanan statis lokal di samping kiri dan kanan pada titik-titik yang berjarak sama dari input, adalah sama, sehingga tebal scalingnya sama dan garis regresi untuk samping kiri dan kanan berimpit. Ternyata garis regresinya tidak berimpit, sebab ketidak sesumbunya pipa kecil dan pipa besar. Hal serupa terjadi pula untuk konsentrasi 57,1 bpj, seperti ditunjukkan pada gambar 5.

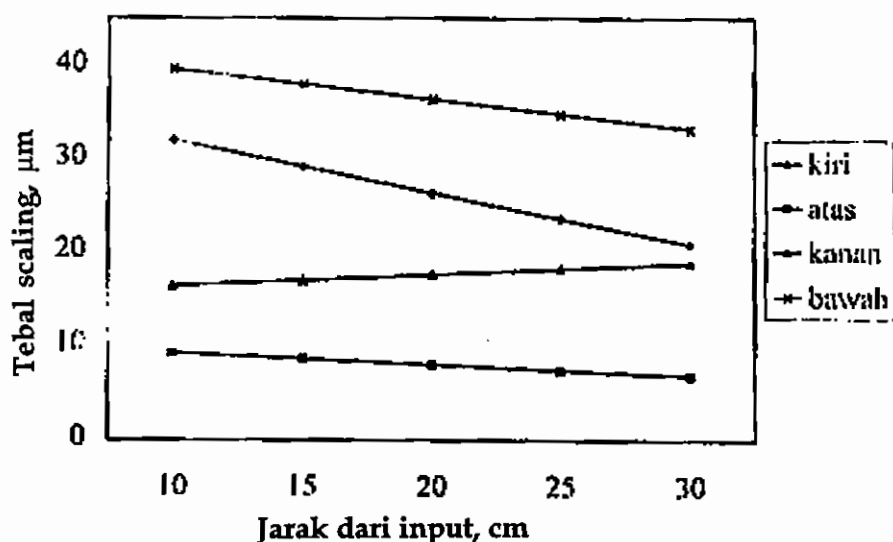
Persamaan pendekatan hasil regresi linear, disajikan pada Gambar 2 sampai Gambar 11.



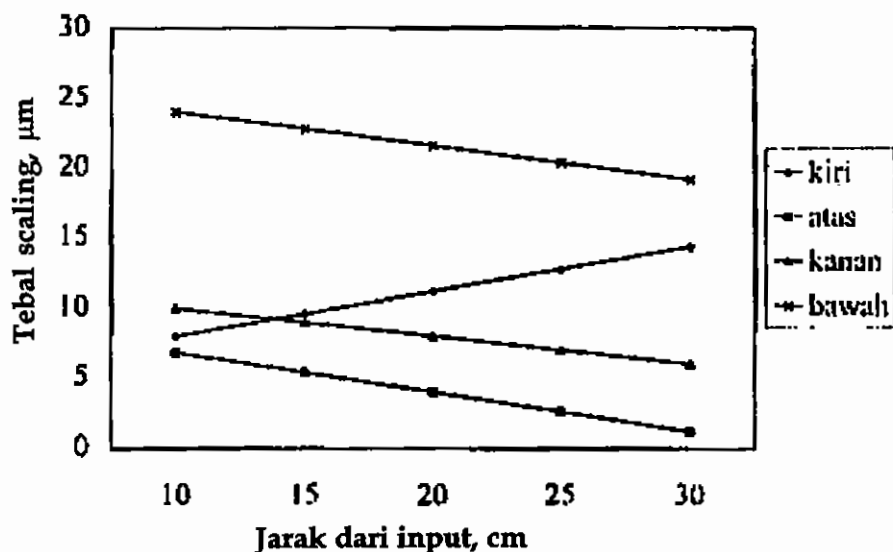
Gambar 2. Pengaruh jarak dari input terhadap tebal scaling pada konsentrasi 93,5 bpj, beda tekanan 0,4 atg.



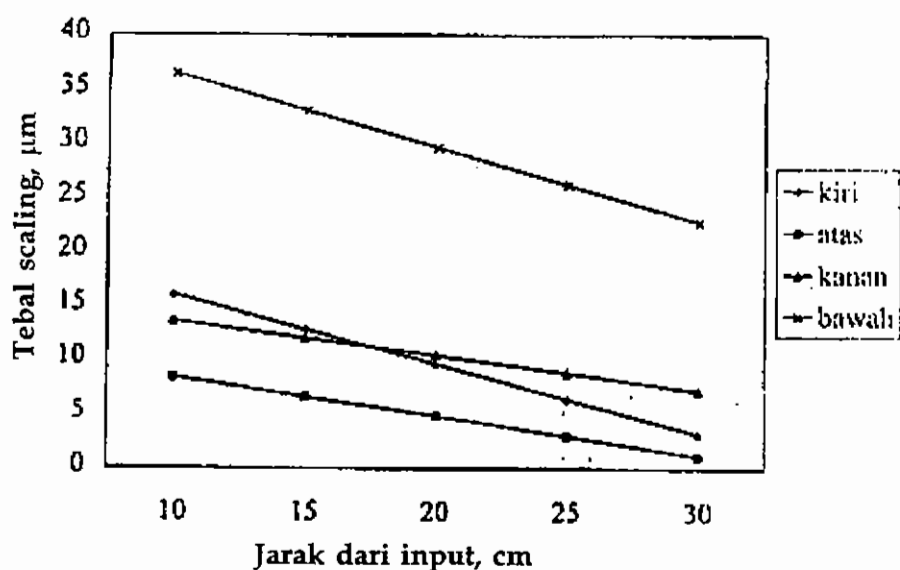
Gambar 3. Pengaruh jarak dari input terhadap tabel scaling pada konsentrasi 93,5 bpj, beda tekanan 1 atg.



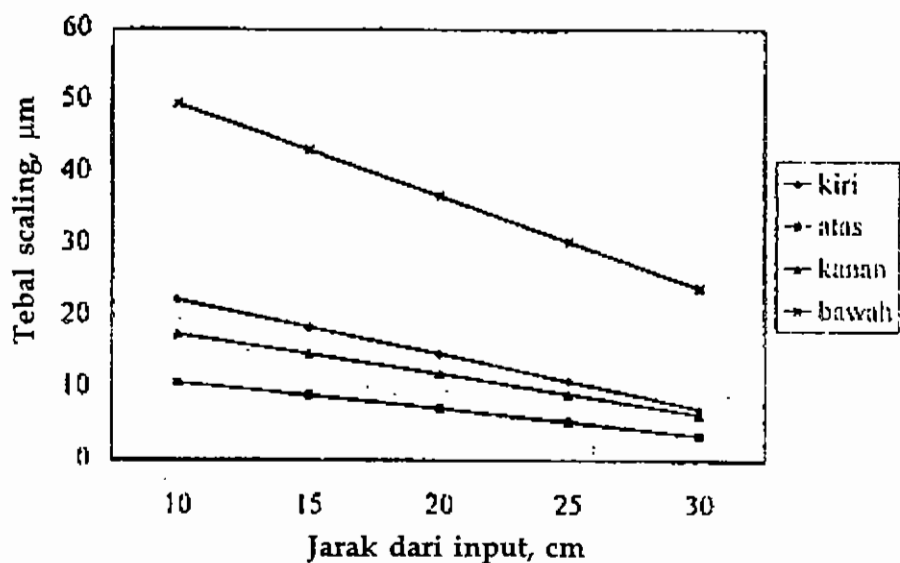
Gambar 4. Pengaruh jarak dari input terhadap tebal scaling pada konsentrasi 93,5 bpj, beda tekanan 1,5 kg



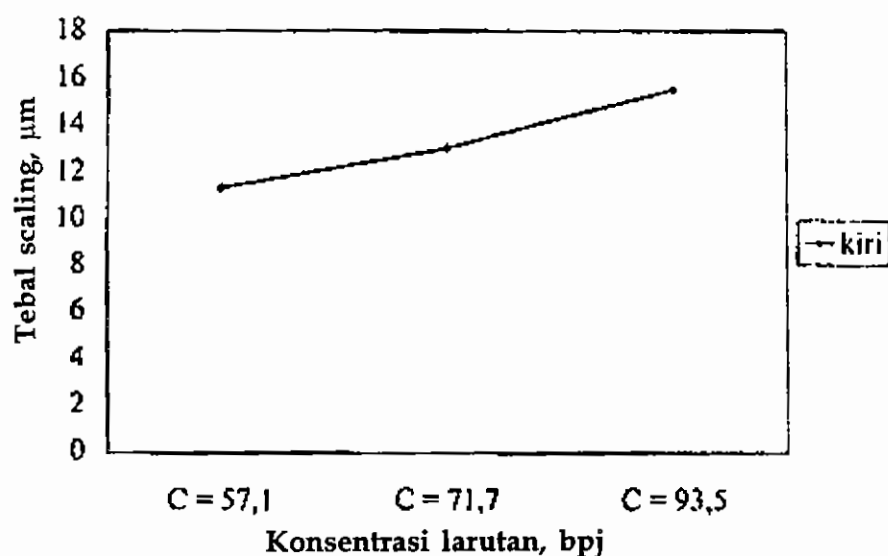
Gambar 5. Pengaruh jarak dari input terhadap tebal scaling pada tekanan 1 atg, konsentrasi 57,1 bpj.



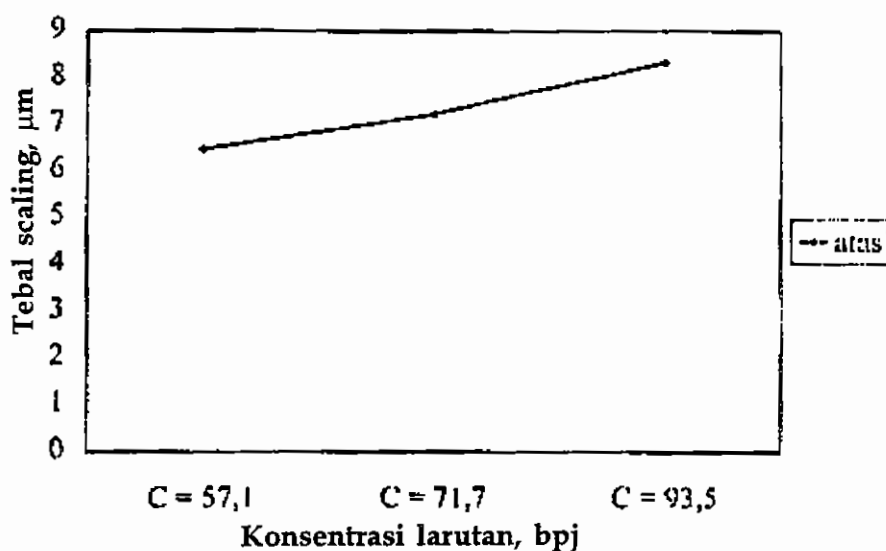
Gambar 6. Pengaruh jarak dari input terhadap tebal scaling pada beda tekanan 1 atg, konsentrasi 71,7 bpj.



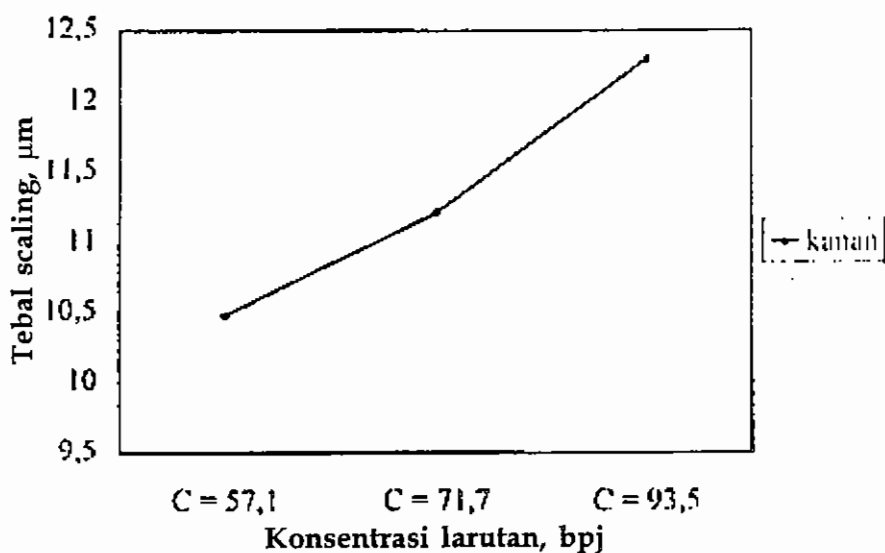
Gambar 7. Pengaruh jarak dari input terhadap tebal scaling pada beda tekanan 1 atg, konsentrasi 93,5 bpj.



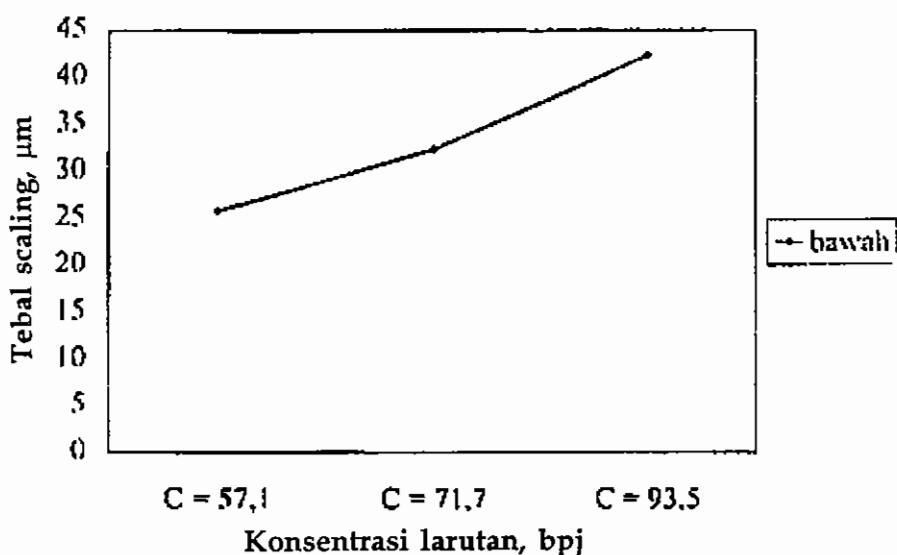
Gambar 8. Pengaruh jarak dari input terhadap tebal scaling pada titik 1, samping kiri.



Gambar 9. Pengaruh jarak dari input terhadap tebal scaling pada titik 1, sisi atas.



Gambar 10. Pengaruh jarak dari input terhadap tebal scaling pada titik 1, samping kanan.



Gambar 11. Pengaruh jarak dari input terhadap tebal scaling pada titik 1, sisi bawah.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan berikut.

1. Tebal scaling yang terbentuk pada dinding pipa dipengaruhi oleh konsentrasi silika dalam air dan laju aliran uap dalam pipa itu.
2. Beda tekanan statis lebih berpengaruh terhadap tebal scaling yang terbentuk bila dibandingkan dengan beda konsentrasi silika dalam air.
3. Hubungan tebal scaling dengan jarak dari input, baik pada beda tekanan statis maupun beda konsentrasi, untuk pipa-pipa pendek dan diameter kecil dapat dinyatakan dengan persamaan pendekatan, yang berupa garis lurus.

DAFTAR PUSTAKA

- Brown, K.L., 1996, *Scaling and Geothermal Development*.
- Henley, R.W., 1993, *Chemistry and Silica Scaling Potential of Multiple Flash Geothermal Waters*, Ind. Proceedings of the 15 th New Zealand Geothermal Workshop 1993.
- Holman, J.P., 1994, *Experimental Methods for Engineers*, McGraw-Hill International Editions, New York
- Jamieson, R.E., *Simulation of The Silica Scaling*, Ind. Proceedings of the 6 th New Zealand Geothermal Workshop 1984.
- Syafei, S., 1995, *Scale in Steam Transmission Lines at Kamojang Geothermal Field*, Ind. Proceedings of the World Geothermal Congress, Volume 4.